

Procédé et dispositif d'imagerie par ondes acoustiques.

La présente invention est relative aux procédés et dispositifs d'imagerie par ondes acoustiques.

Plus particulièrement, l'invention concerne un
5 procédé d'imagerie par ondes acoustiques comprenant au moins une étape d'émission au cours de laquelle on fait émettre par un premier réseau de transducteurs (comportant au moins un transducteur), au moins une onde d'excitation ultrasonore présentant une certaine fréquence centrale
10 d'émission f_c et focalisée en au moins un point cible d'un milieu cible, et on fait passer ladite onde d'excitation dans un milieu réverbérant avant d'atteindre le milieu cible.

Le document WO-A-97/03438 décrit un procédé de ce
15 type, qui donne toute satisfaction.

La présente invention a notamment pour but de perfectionner encore ce procédé connu en vue de le rendre plus facile d'utilisation notamment pour des applications médicales ou industrielles.

20 A cet effet, selon l'invention, un procédé du genre en question est caractérisé en ce qu'au cours de l'étape d'émission, on utilise comme milieu réverbérant un objet solide réverbérant sur lequel est fixé chaque transducteur du premier réseau, ledit objet solide réverbérant étant
25 adapté pour provoquer des réflexions multiples de l'onde d'excitation qui le traverse et pour qu'une onde impulsionnelle de durée $1/f_c$ entrant dans ledit objet solide entraîne une émission acoustique de durée au moins égale à $10/f_c$ vers le milieu cible.

30 Grâce à ces dispositions, l'objet solide réverbérant et le premier réseau de transducteurs forment ensemble une sonde monobloc où les transducteurs du premier réseau sont positionnés à l'avance avec précision, ce qui évite ou allège fortement les réglages à chaque
35 utilisation. De plus, lorsque l'objet solide réverbérant

est de petite taille et de faible poids, cette sonde est facile à manipuler, sans dérèglement du positionnement des transducteurs.

Dans divers modes de réalisation du procédé selon l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- au cours de l'étape d'émission, on émet l'onde d'excitation $s(t)$ vers un nombre K au moins égal à 1 de points cibles prédéterminés k appartenant au milieu cible, en faisant émettre par chaque transducteur i du premier réseau un signal d'émission :

$$s_i(t) = \sum_{k=1}^K e_{ik}(t) \otimes s(t),$$

où les signaux $e_{ik}(t)$ sont des signaux d'émission élémentaires prédéterminés adaptés pour que, lorsque les transducteurs i émettent des signaux $e_{ik}(t)$, on génère une onde acoustique impulsionnelle au point cible k ;

- les signaux $e_{ik}(t)$ sont codés sur un nombre de bits compris entre 1 et 64 ;

- les signaux $e_{ik}(t)$ sont codés sur 1 bit ;

- les signaux d'émission élémentaires $e_{ik}(t)$ sont déterminés expérimentalement au cours d'une étape d'apprentissage, préalable à ladite étape d'émission ;

- au cours de l'étape d'apprentissage, on fait émettre un signal impulsionnel ultrasonore successivement au niveau de chaque point cible prédéterminé k , on fait capter les signaux $r_{ik}(t)$ reçus par chaque transducteur i du premier réseau à partir de l'émission dudit signal impulsionnel ultrasonore, et on détermine les signaux d'émission élémentaires $e_{ik}(t)$ par retournement temporel des signaux reçus $r_{ik}(t)$:

$$e_{ik}(t) = r_{ik}(-t) ;$$

- au cours de l'étape d'apprentissage, on place un milieu liquide, distinct du milieu cible, au contact de l'objet solide réverbérant, et on fait émettre ledit signal impulsionnel à partir dudit milieu liquide ;

- au cours de l'étape d'apprentissage, point cible prédéterminé k , on fait émettre un signal impulsionnel ultrasonore successivement au niveau de chaque transducteur i du premier réseau, on fait capter les signaux $r_{ik}(t)$ reçus au point cible k à partir de l'émission dudit signal impulsionnel ultrasonore, et on détermine les signaux d'émission élémentaires $e_{ik}(t)$ par retournement temporel des signaux reçus $r_{ik}(t)$:
- $$e_{ik}(t) = r_{ik}(-t).$$
- au cours de l'étape d'apprentissage, on place un milieu liquide, distinct du milieu cible (2), au contact de l'objet solide réverbérant (7), et on capte les signaux $r_{ik}(t)$ dans ledit milieu liquide.
- le milieu liquide, utilisé au cours de l'étape d'apprentissage, comprend essentiellement de l'eau, et au cours de l'étape d'émission, le milieu cible dans lequel on focalise l'onde d'excitation comprend au moins une partie du corps d'un patient ;
- les signaux d'émission élémentaires $e_{ik}(t)$ sont déterminés par le calcul ;
- l'objet solide réverbérant, que l'on fait traverser par l'onde d'excitation au cours de l'étape d'émission, est en contact avec le milieu cible ;
- le procédé comporte en outre une étape de réception d'échos émis par le milieu cible en réponse à l'onde d'excitation, en vue d'imager au moins une partie de la zone cible ;
- l'onde d'excitation est émise pendant une durée comprise entre $1/2.f_c$ et $10/f_c$;
- au cours de l'étape d'émission, l'onde d'excitation traverse au moins un milieu acoustiquement non linéaire et présente une amplitude suffisante pour que des ondes harmoniques de la fréquence centrale d'émission soient générées dans ledit milieu acoustiquement non linéaire, et au cours de l'étape de réception, on écoute les échos revenant du milieu cible à une fréquence d'écoute

qui est un multiple entier de la fréquence centrale d'émission ;

- les ondes harmoniques sont générées dans le milieu cible, qui présente un comportement acoustique non
5 linéaire ;

- au cours de l'étape de réception, on écoute les échos revenant de la zone cible à une fréquence d'écoute égale à deux ou trois fois la fréquence centrale d'émission ;

10 - au cours de l'étape d'émission, le milieu cible, dans lequel on focalise l'onde d'excitation, comprend au moins une partie du corps d'un patient ;

- au cours de l'étape de réception, on écoute les échos revenant de la zone cible au moyen d'un deuxième
15 réseau de transducteurs solidaire dudit objet solide réverbérant ;

- au cours de l'étape d'émission, on émet une onde d'excitation modulée en amplitude, adaptée pour appliquer sur le milieu cible une pression de radiation qui engendre
20 une onde de cisaillement basse fréquence ;

- au cours de l'étape d'émission, on émet une onde d'excitation adaptée pour chauffer localement le milieu cible.

Par ailleurs, l'invention a également pour objet un
25 dispositif d'imagerie par ondes acoustiques comprenant au moins des moyens d'émission comprenant un premier réseau de transducteurs, ces moyens d'émission étant adaptés pour faire émettre par le premier réseau de transducteurs, au travers d'un milieu réverbérant, au moins une onde
30 d'excitation ultrasonore présentant une certaine fréquence centrale d'émission f_c et focalisée en au moins un point cible d'un milieu cible,

caractérisé en ce que le milieu réverbérant comprend un objet solide réverbérant sur lequel est fixé
35 chaque transducteur du premier réseau, ledit objet solide réverbérant étant adapté pour provoquer des réflexions

multiples de l'onde d'excitation qui le traverse et pour qu'une onde impulsionnelle de durée $1/f_c$ entrant dans ledit objet solide entraîne une émission acoustique de durée au moins égale à $10/f_c$ vers le milieu cible.

5 Dans divers modes de réalisation du dispositif selon l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- les moyens d'émission sont adaptés pour faire émettre l'onde d'excitation $s(t)$ vers un nombre K au moins
10 égal à 1 de points cibles prédéterminés k appartenant au milieu cible, en faisant émettre par chaque transducteur i du premier réseau un signal d'émission :

$$s_i(t) = \sum_{k=1}^K e_{ik}(t) \otimes s(t),$$

où les signaux $e_{ik}(t)$ sont des signaux d'émission
15 élémentaires prédéterminés adaptés pour que, lorsque les transducteurs i émettent des signaux $e_{ik}(t)$, on génère une onde acoustique impulsionnelle au point cible k ;

- le dispositif comporte en outre des moyens de réception d'échos émis par le milieu cible en réponse à
20 l'onde d'excitation, en vue d'imager au moins une partie de la zone cible ;

- les moyens d'émission sont adaptés pour émettre l'onde d'excitation pendant une durée comprise entre $1/2.f_c$ et $10/f_c$;

25 - les moyens de réception sont adaptés pour écouter les échos revenant du milieu cible à une fréquence d'écoute qui est un multiple entier de la fréquence centrale d'émission ;

- les moyens de réception sont adaptés pour
30 écouter les échos revenant du milieu cible à une fréquence d'écoute égale à deux fois la fréquence centrale d'émission ;

- les moyens de réception comprennent un deuxième réseau de transducteurs solidaire dudit objet solide
35 réverbérant ;

- les moyens d'émission sont adaptés pour émettre une onde d'excitation adaptée pour appliquer une pression de radiation sur le milieu cible ;

- les moyens d'émission sont adaptés pour émettre
5 une onde d'excitation adaptée pour chauffer localement le milieu cible.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description suivante d'un de ses modes de réalisation, donné à titre
10 d'exemple non limitatif, en regard du dessin joint.

Sur le dessin, la figure 1 est une vue schématique illustrant un dispositif de focalisation d'ondes ultrasonores selon une forme de réalisation de l'invention.

Le dispositif 1 de focalisation d'ondes
15 ultrasonores représenté sur la figure 1 est destiné par exemple à imager un milieu cible 2, par exemple une partie du corps d'un patient dans des applications médicales, ou encore une partie d'un objet industriel dans des applications de contrôles non destructifs, ou autres.

20 Plus précisément, le dispositif de focalisation d'ondes ultrasonores 1 est destiné à imager une zone à examiner 3 dans le milieu cible 2, cette zone 3 pouvant le cas échéant être à trois dimensions.

A cet effet, le dispositif d'imagerie 1 est adapté
25 pour émettre successivement des ondes d'excitation ultrasonores focalisées sur différents points cibles 4 prédéterminés appartenant à la zone 3. Après émission de chaque onde d'excitation, le dispositif d'imagerie 1 capte les échos émis par la zone cible 3 en réponse à ces ondes
30 d'excitation, de préférence en réalisant également une focalisation en réception sur le point cible 4 sur lequel était focalisée l'onde d'excitation.

Les ondes d'excitation sont émises par un premier réseau 5 de transducteurs d'émission 6, qui sont fixés à un
35 objet solide réverbérant 7 adapté pour que les ondes

d'excitation émises par ledit premier réseau 5 de transducteurs subissent des réflexions multiples à l'intérieur dudit objet solide avant de parvenir au milieu cible 2, placé au contact dudit objet solide 7.

5 Les transducteurs d'émission 6 peuvent être en nombre quelconque, allant de 1 à plusieurs dizaines, par exemple une centaine, en passant par des valeurs intermédiaires telles qu'un nombre compris entre 5 et 10 comme dans l'exemple représenté sur la figure 1.

10 Dans l'exemple considéré, l'objet 7 peut être constitué par un bloc de métal ou autre matériau rigide, dans lequel les ondes ultrasonores se propagent avec une très faible atténuation et avec des temps de réverbération importants, tels qu'une onde impulsionnelle de durée $1/f_c$
15 émise par le premier réseau 5 de transducteurs entraîne une émission acoustique de durée au moins égale à $10/f_c$ vers le milieu cible 2.

Dans l'exemple considéré ici, l'objet 7 présente une forme générale de parallélépipède rectangle dans lequel
20 est ménagé un évidement 8 en forme de portion de sphère, les transducteurs 6 du premier réseau étant par exemple collés sur la face de l'objet 7 qui est située à l'opposé de la face de cet objet en contact avec le milieu cible 2.

Bien entendu, d'autres formes générales de l'objet
25 7 et/ou de l'évidement 8 pourraient être envisagées.

Les échos revenant de la zone cible 3 après émission d'une onde d'excitation focalisée sur l'un des points cibles 4, sont captés par un deuxième réseau 9 de transducteurs de réception 10, lesquels transducteurs de
30 réception peuvent éventuellement être également fixés à l'objet 7 susmentionné, par exemple sur la face de cet objet au contact du milieu cible 2.

Les transducteurs de réception 10 peuvent être en nombre quelconque, allant de 1 à quelques dizaines (ces
35 transducteurs sont au nombre de 4 dans l'exemple

particulier représenté sur la figure 1).

Les transducteurs 6, 10 sont commandés indépendamment les uns des autres par un micro-ordinateur 12 (classiquement doté d'interfaces utilisateur tels qu'un écran 12a et un clavier 12b), éventuellement par l'intermédiaire d'une unité centrale CPU qui est contenue par exemple dans une baie électronique 11 reliée par un câble souple aux transducteurs 6, 10.

Cette baie électronique 11 peut comprendre par exemple :

- un circuit échantillonneur E1-E6 ; E'1-E'4 relié à chaque transducteur 6, 10 ;
- une mémoire M1-M6 ; M'1-M'4 reliée à l'échantillonneur de chaque transducteur 6, 10 ;
- un circuit sommateur S relié au mémoire M1-M6 ; M'1-M'4 ;
- et une mémoire générale M reliée à l'unité centrale CPU.

Le dispositif qui vient d'être décrit fonctionne comme suit.

Préalablement à toute opération d'imagerie, on détermine d'abord une matrice de signaux d'émission élémentaire $e_{ik}(t)$ qui sont tels que, pour générer une onde d'excitation $s(t)$ en un point cible k , on fasse émettre par chaque transducteur i du premier réseau 5 un signal d'émission :

$$s_i(t) = e_{ik}(t) \otimes s(t).$$

Ces signaux d'émission élémentaires peuvent éventuellement être déterminés par le calcul (par exemple par une méthode de filtre inverse spatio-temporel), ou ils peuvent être déterminés expérimentalement au cours d'une étape préliminaire d'apprentissage.

Au cours de cette étape d'apprentissage, on peut avantageusement faire émettre un signal impulsionnel

ultrasonore par un émetteur tel qu'un hydrophone successivement au niveau de chaque point cible k , et on fait capter les signaux $r_{ik}(t)$ reçus par chaque transducteur i du premier réseau 5 à partir de l'émission dudit signal impulsionnel ultrasonore. Les signaux $r_{ik}(t)$ ainsi captés sont transmis à l'unité centrale CPU, qui calcule alors les signaux d'émission élémentaire $e_{ik}(t)$ par retournement temporel desdits signaux reçus : $e_{ik}(t) = r_{ik}(-t)$.

10 Si le milieu cible 2 est un milieu liquide, il peut éventuellement être possible de procéder à l'étape préliminaire d'apprentissage en positionnant successivement l'émetteur d'onde ultrasonore sur les différents points cibles 4 de la zone à examiner 3. Si le milieu 2 est une
15 partie du corps d'un patient ou un milieu similaire comprenant une grande quantité d'eau, il peut être possible de procéder à la phase d'apprentissage en remplaçant le milieu 2 par un volume de liquide, comprenant de préférence une majorité d'eau, en positionnant successivement
20 l'émetteur d'onde ultrasonore aux emplacements des différents points cibles 4, repérés par rapport à l'objet solide réverbérant 7.

En mettant à profit le principe de réciprocité spatiale, on peut aussi déterminer les signaux $e_{ik}(t)$ en
25 plaçant successivement un ou plusieurs hydrophones aux points cibles k dans le milieu liquide susmentionné. Pour chaque position k de l'hydrophone, on fait émettre successivement une impulsion ultrasonore par chaque transducteur i , et on capte les signaux $r_{ik}(t)$ par
30 l'hydrophone. On en déduit ensuite les signaux $e_{ik}(t)$ par retournement temporel : $e_{ik}(t) = r_{ik}(-t)$.

Lorsqu'on veut ensuite imager la zone à examiner 3 du milieu cible 2, on place l'objet solide réverbérant 7 au

contact de ce milieu cible, et on fait successivement émettre par les transducteurs 6 du premier réseau, des ondes d'excitation localisées chacune sur l'un des points cibles 4 de la zone à examiner 3.

5 A cet effet, pour focaliser une onde d'excitation sur un point cible k , on fait émettre par chaque transducteur i du premier réseau 5, un signal d'émission $s_i(t) = e_{ik}(t) \otimes s(t)$.

10 On répète cette émission d'onde d'excitation pour chaque point cible 4 de la zone à examiner 3.

En variante, il est également possible de générer une onde d'excitation $s(t)$ focalisée en un nombre K supérieur à 1 de points cibles 4 de la zone à examiner 3, en faisant émettre par chaque transducteur i du premier
15 réseau 5 un signal d'émission $s_i(t) = \sum_{k=1}^K e_{ik}(t) \otimes s(t)$.

Les ondes d'excitation ainsi émises présentent une fréquence centrale qui peut être comprise notamment entre 200kHz et 100 Mhz, par exemple 3 Mhz, et ces ondes d'excitation sont émises par les transducteurs 6 du premier
20 réseau pendant une durée comprise entre $1/2 f_c$ et $10/f_c$.

Après chaque émission d'onde d'excitation focalisée sur un ou plusieurs des points cibles 4 de la zone à examiner 3, on fait capter les échos émis par le milieu cible 2, au moyen des transducteurs de réception 10 du
25 deuxième réseau 9. Les signaux ainsi captés sont numérisés par les échantillonneurs E'1-E'4 et mémorisés dans les mémoires M'1-M'4, puis traités par une technique classique de formation de voies qui réalise une focalisation en réception sur le ou les points cibles 4 visés lors de
30 l'émission.

Les traitements en question, qui consistent notamment à imposer des retards différents aux signaux captés et à capter ces signaux, peuvent être mis en œuvre par le sommateur S.

Avantageusement, au cours de cette étape de réception d'échos, on peut mettre à profit le comportement acoustique non linéaire de l'un au moins des matériaux traversés par l'onde d'excitation, c'est-à-dire le milieu cible 2 et/ou l'objet solide réverbérant 7 (en pratique, c'est principalement le milieu cible 2 qui présentera un comportement acoustique non linéaire, le matériau de l'objet solide réverbérant présentant de préférence un comportement acoustique linéaire. En effet, on génère l'onde d'excitation avec une amplitude suffisante pour que des ondes harmoniques de la fréquence centrale f_c soient générées, avec un niveau suffisant pour pouvoir écouter les échos revenant du milieu cible 2 à une fréquence d'écoute qui est un multiple entier de la fréquence centrale d'émission f_c .

Avantageusement, on écoute ainsi les échos revenant du milieu cible 2 à une fréquence double ou triple de la fréquence f_c .

Cette écoute sélective en fréquence peut être obtenue soit par la constitution même des transducteurs de réception 10, de façon connue en soi, soit par un filtrage en fréquence des signaux provenant des transducteurs de réception 10.

Grâce à cette écoute à une fréquence différente de la fréquence f_c , on s'affranchit de toute perturbation de l'écoute par l'onde d'excitation elle-même, bien que cette onde d'excitation soit particulièrement longue du fait de ses réflexions multiples à l'intérieur de l'objet solide réverbérant 7.

Bien que le dispositif 1 ait été décrit précédemment comme un dispositif d'imagerie ultrasonore, ce dispositif peut le cas échéant être utilisé, en plus de l'imagerie où indépendamment de celle-ci, pour :

- générer une onde de cisaillement dans le milieu cible 2,

- ou chauffer localement ce milieu cible.

Pour générer une onde de cisaillement, par exemple en vue de procéder à une imagerie par suivi de la propagation de l'onde de cisaillement notamment comme décrit dans le document FR-A-2 791 136 ou dans la demande
5 de brevet français n° FR-02 10838, l'onde d'excitation ultrasonore $s(t)$ susmentionnée peut être émise pendant une durée relativement longue, comprise par exemple entre $10/f_c$ et $200000/f_c$, avec une modulation d'amplitude (continue ou
10 par paliers) permettant d'appliquer une pression de radiation sur le milieu cible 2 pour générer l'onde de cisaillement.

Lorsqu'il s'agit au contraire de chauffer localement le milieu cible 2, l'onde d'excitation
15 ultrasonore susmentionnée $s(t)$ peut être émise (en continu ou non) pendant une durée supérieure à 0,5 s par les transducteurs d'émission 6, de préférence dans une large bande de fréquences. On engendre ainsi une hausse de température dans le milieu 2 pouvant aller de quelques
20 degrés à quelques dizaines de degrés.

On notera que le procédé et le dispositif selon l'invention seraient également utilisables pour des applications de nettoyage de précision par ultrasons ou pour de soudure aux ultrasons.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'imagerie par ondes acoustiques comprenant au moins une étape d'émission au cours de laquelle on fait émettre par un premier réseau (5) de transducteurs, au moins une onde d'excitation ultrasonore présentant une certaine fréquence centrale d'émission f_c et focalisée en au moins un point cible (4) d'un milieu cible (2), et on fait passer ladite onde d'excitation dans un milieu réverbérant (7) avant d'atteindre le milieu cible (2),

caractérisé en ce qu'au cours de l'étape d'émission, on utilise comme milieu réverbérant un objet solide réverbérant (7) sur lequel est fixé chaque transducteur (6) du premier réseau (5), ledit objet solide réverbérant (7) étant adapté pour provoquer des réflexions multiples de l'onde d'excitation qui le traverse et pour qu'une onde impulsionnelle de durée $1/f_c$ entrant dans ledit objet solide entraîne une émission acoustique de durée au moins égale à $10/f_c$ vers le milieu cible.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, au cours de l'étape d'émission, on émet l'onde d'excitation $s(t)$ vers un nombre K au moins égal à 1 de points cibles (4) prédéterminés k appartenant au milieu cible, en faisant émettre par chaque transducteur i du premier réseau (5) un signal d'émission :

$$s_i(t) = \sum_{k=1}^K e_{ik}(t) \otimes s(t),$$

où les signaux $e_{ik}(t)$ sont des signaux d'émission élémentaires prédéterminés adaptés pour que, lorsque les transducteurs i émettent des signaux $e_{ik}(t)$, on génère une onde acoustique impulsionnelle au point cible k .

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel les signaux $e_{ik}(t)$ sont codés sur un nombre de bits compris entre 1 et 64.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel

les signaux $e_{ik}(t)$ sont codés sur 1 bit.

5 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, dans lequel les signaux d'émission élémentaires $e_{ik}(t)$ sont déterminés expérimentalement au cours d'une étape d'apprentissage, préalable à ladite étape d'émission.

10 6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel, au cours de l'étape d'apprentissage, on fait émettre un signal impulsionnel ultrasonore successivement au niveau de chaque point cible prédéterminé k , on fait capter les signaux $r_{ik}(t)$ reçus par chaque transducteur i du premier réseau (5) à partir de l'émission dudit signal impulsionnel ultrasonore, et on détermine les signaux d'émission élémentaires $e_{ik}(t)$ par retournement temporel des signaux
15 reçus $r_{ik}(t)$:

$$e_{ik}(t) = r_{ik}(-t).$$

20 7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel, au cours de l'étape d'apprentissage, on place un milieu liquide, distinct du milieu cible (2), au contact de l'objet solide réverbérant (7), et on fait émettre ledit signal impulsionnel à partir dudit milieu liquide.

25 8. Procédé selon la revendication 5, dans lequel, au cours de l'étape d'apprentissage, point cible prédéterminé k , on fait émettre un signal impulsionnel ultrasonore successivement au niveau de chaque transducteur i du premier réseau, on fait capter les signaux $r_{ik}(t)$ reçus au point cible k à partir de l'émission dudit signal impulsionnel ultrasonore, et on détermine les signaux d'émission élémentaires $e_{ik}(t)$ par retournement temporel
30 des signaux reçus $r_{ik}(t)$:

$$e_{ik}(t) = r_{ik}(-t).$$

35 9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel, au cours de l'étape d'apprentissage, on place un milieu liquide, distinct du milieu cible (2), au contact de l'objet solide réverbérant (7), et on capte les signaux $r_{ik}(t)$ dans ledit milieu liquide.

10. Procédé selon la revendication 7 ou la revendication 9, dans lequel le milieu liquide, utilisé au cours de l'étape d'apprentissage, comprend essentiellement de l'eau, et au cours de l'étape d'émission, le milieu
5 cible (2) dans lequel on focalise l'onde d'excitation comprend au moins une partie du corps d'un patient.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, dans lequel les signaux d'émission élémentaires $e_{ik}(t)$ sont déterminés par le calcul.

10 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'objet solide réverbérant (7), que l'on fait traverser par l'onde d'excitation au cours de l'étape d'émission, est en contact avec le milieu cible (2).

15 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant en outre une étape de réception d'échos émis par le milieu cible (2) en réponse à l'onde d'excitation, en vue d'imager au moins une partie (3) dudit milieu cible.

20 14. Procédé selon la revendication 13, dans lequel l'onde d'excitation est émise pendant une durée comprise entre $1/2.f_c$ et $10/f_c$.

15. Procédé selon la revendication 13 ou la revendication 14, dans lequel :

25 - au cours de l'étape d'émission, l'onde d'excitation traverse au moins un milieu acoustiquement non linéaire (2) et présente une amplitude suffisante pour que des ondes harmoniques de la fréquence centrale d'émission soient générées dans ledit milieu acoustiquement non
30 linéaire,

- et au cours de l'étape de réception, on écoute les échos revenant du milieu cible (2) à une fréquence d'écoute qui est un multiple entier de la fréquence centrale d'émission.

35 16. Procédé selon la revendication 15, dans lequel les ondes harmoniques sont générées dans le milieu cible

(2), qui présente un comportement acoustique non linéaire.

17. Procédé selon la revendication 15 ou la revendication 16, dans lequel, au cours de l'étape de réception, on écoute les échos revenant de la zone cible
5 (2) à une fréquence d'écoute égale à deux ou trois fois la fréquence centrale d'émission.

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 13 à 17, dans lequel, au cours de l'étape d'émission, le milieu cible (2), dans lequel on focalise
10 l'onde d'excitation, comprend au moins une partie du corps d'un patient.

19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 13 à 18, dans lequel, au cours de l'étape de réception, on écoute les échos revenant de la zone cible
15 (2) au moyen d'un deuxième réseau (9) de transducteurs solidaire dudit objet solide réverbérant (7).

20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel, au cours de l'étape d'émission, on émet une onde d'excitation modulée en
20 amplitude, adaptée pour appliquer sur le milieu cible (2) une pression de radiation qui engendre une onde de cisaillement basse fréquence.

21. Procédé selon la revendication 20, dans lequel, au cours de l'étape d'émission, le milieu cible (2), dans
25 lequel on focalise l'onde d'excitation, comprend au moins une partie du corps d'un patient.

22. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel, au cours de l'étape d'émission, on émet une onde d'excitation adaptée pour
30 chauffer localement le milieu cible (2).

23. Dispositif d'imagerie par ondes acoustiques comprenant au moins des moyens d'émission (11, 5) comprenant un premier réseau (5) de transducteurs, ces
35 moyens d'émission étant adaptés pour faire émettre par le premier réseau de transducteurs, au travers d'un milieu

réverbérant (7), au moins une onde d'excitation ultrasonore présentant une certaine fréquence centrale d'émission f_c et focalisée en au moins un point cible (4) d'un milieu cible (3),

5 **caractérisé en ce que** le milieu réverbérant comprend un objet solide réverbérant (7) sur lequel est fixé chaque transducteur (6) du premier réseau (5), ledit objet solide réverbérant étant adapté pour provoquer des réflexions multiples de l'onde d'excitation qui le traverse et pour
10 qu'une onde impulsionnelle de durée $1/f_c$ entrant dans ledit objet solide entraîne une émission acoustique de durée au moins égale à $10/f_c$ vers le milieu cible.

24. Dispositif selon la revendication 239, dans lequel, les moyens d'émission (11, 5) sont adaptés pour
15 faire émettre l'onde d'excitation $s(t)$ vers un nombre K au moins égal à 1 de points cibles (4) prédéterminés k appartenant au milieu cible (2), en faisant émettre par chaque transducteur i du premier réseau (5) un signal d'émission :

20
$$s_i(t) = \sum_{k=1}^K e_{ik}(t) \otimes s(t),$$

où les signaux $e_{ik}(t)$ sont des signaux d'émission élémentaires prédéterminés adaptés pour que, lorsque les transducteurs i émettent des signaux $e_{ik}(t)$, on génère une onde acoustique impulsionnelle au point cible k .

25 25. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 23 à 24, comportant en outre des moyens de réception (11, 9) d'échos émis par le milieu cible (2) en réponse à l'onde d'excitation, en vue d'imager au moins une partie (3) dudit milieu cible.

30 26. Dispositif selon la revendication 25, dans lequel les moyens d'émission sont adaptés pour émettre l'onde d'excitation pendant une durée comprise entre $1/(2.f_c)$ et $10/f_c$.

27. Dispositif selon la revendication 25 ou la
35 revendication 26, dans lequel les moyens de réception (11,

9) sont adaptés pour écouter les échos revenant du milieu cible (2) à une fréquence d'écoute qui est un multiple entier de la fréquence centrale d'émission.

28. Dispositif selon la revendication 27, dans lequel les moyens de réception (11, 9) sont adaptés pour écouter les échos revenant du milieu cible (2) à une fréquence d'écoute égale à deux fois la fréquence centrale d'émission.

29. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 26 à 28, dans lequel les moyens de réception (11, 9) comprennent un deuxième réseau (9) de transducteurs solidaire dudit objet solide réverbérant (7).

30. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 23 à 25, dans lequel les moyens d'émission (11, 5) sont adaptés pour émettre une onde d'excitation adaptée pour appliquer une pression de radiation sur le milieu cible (2).

31. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 23 à 25, dans lequel les moyens d'émission (11, 5) sont adaptés pour émettre une onde d'excitation adaptée pour chauffer localement le milieu cible (2).

1/1

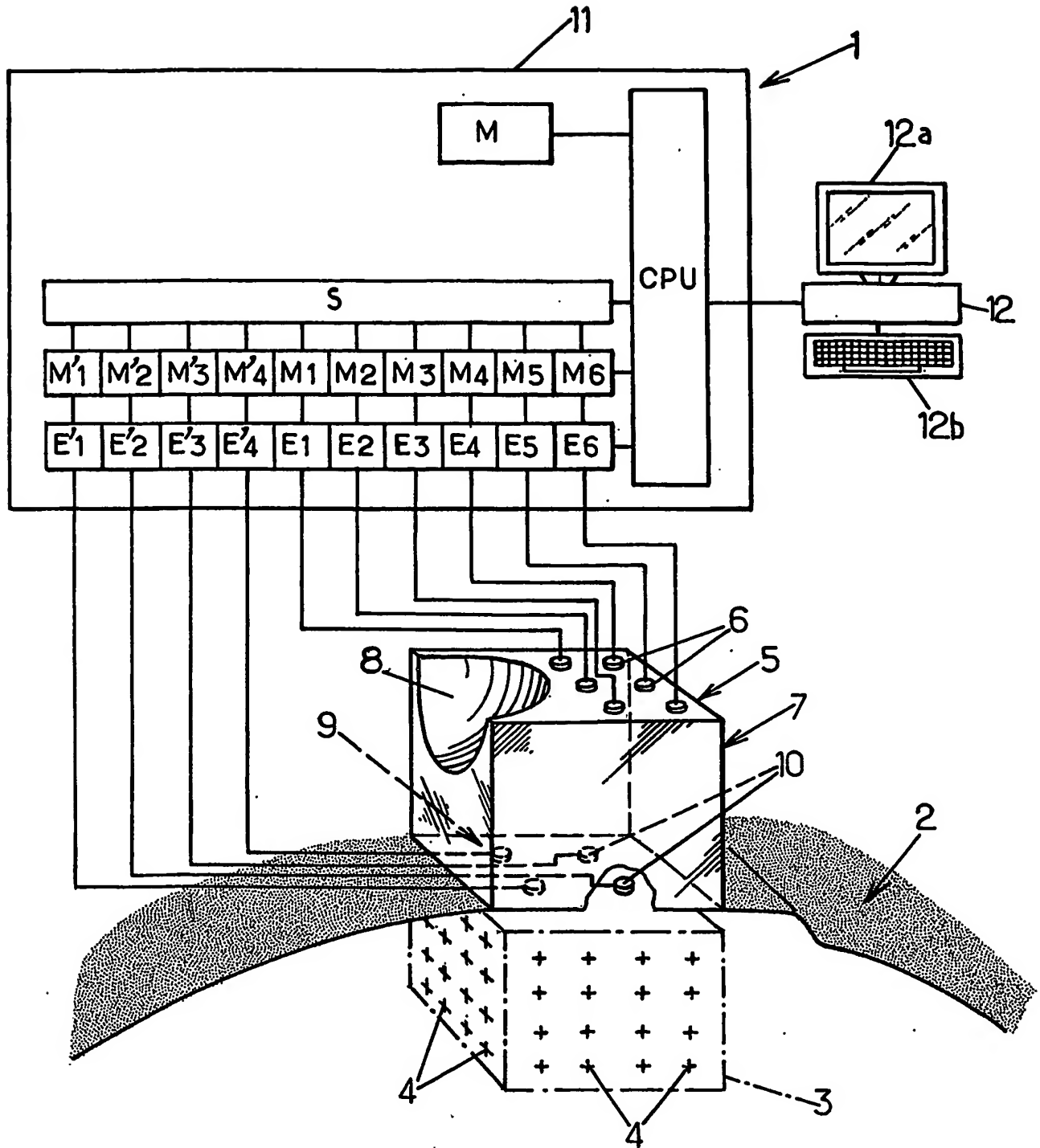


FIG.1.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR2004/001980

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G10K11/34 G10K11/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G10K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|---|
| X | <p>MONTALDO G ET AL: "Generation of very high pressure pulses with 1-bit time reversal in a solid waveguide" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, DEC. 2001, ACOUST. SOC. AMERICA THROUGH AIP, USA, vol. 110, no. 6, December 2001 (2001-12), pages 2849-2857, XP012002616 ISSN: 0001-4966 the whole document</p> <p style="text-align: center;">----- --/--</p> | <p>1-14, 18, 23, 24, 30, 31</p> |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 January 2005

Date of mailing of the international search report

14/01/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lorne, B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2004/001980

G.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| A | <p>DERODE A ET AL: "Random multiple scattering of ultrasound. II. Is time reversal a self-averaging process?" PHYSICAL REVIEW E (STATISTICAL, NONLINEAR, AND SOFT MATTER PHYSICS), SEPT. 2001, APS THROUGH AIP, USA, vol. 64, no. 3, 2001, pages 036606/1-13, XP002279676 ISSN: 1063-651X page 2</p> <p>-----</p> | 1,23 |
| A | <p>YON S ET AL: "Sound focusing in rooms: the time-reversal approach" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, MARCH 2003, ACOUST. SOC. AMERICA THROUGH AIP, USA, vol. 113, no. 3, March 2003 (2003-03), pages 1533-1543, XP012003364 ISSN: 0001-4966 abstract</p> <p>-----</p> | 1,23 |
| A | <p>WO 97/03438 A (FINK MATHIAS ;LEWINER JACQUES (FR); APPLIC DU RETOURNEMENT TEMP SO) 30 January 1997 (1997-01-30) cited in the application claims 1,12</p> <p>-----</p> | 1,23 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/001980

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| WO 9703438 | A | 30-01-1997 | DE 69606179 D1 | 17-02-2000 |
| | | | DE 69606179 T2 | 17-08-2000 |
| | | | EP 0842508 A1 | 20-05-1998 |
| | | | EP 0944035 A2 | 22-09-1999 |
| | | | WO 9703438 A1 | 30-01-1997 |
| | | | JP 2000501896 T | 15-02-2000 |
| | | | US 6198829 B1 | 06-03-2001 |
| | | | US 2001001603 A1 | 24-05-2001 |

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/FR2004/001980

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 G10K11/34 G10K11/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 G10K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie * | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
|-------------|--|---|
| X | <p>MONTALDO G ET AL: "Generation of very high pressure pulses with 1-bit time reversal in a solid waveguide" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, DEC. 2001, ACOUST. SOC. AMERICA THROUGH AIP, USA, vol. 110, no. 6, décembre 2001 (2001-12), pages 2849-2857, XP012002616 ISSN: 0001-4966 le document en entier</p> <p style="text-align: center;">----- -/-</p> | <p>1-14, 18, 23, 24, 30, 31</p> |

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

X document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

Y document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

Z document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

10 janvier 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

14/01/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Lorne, B

| C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS | | |
|---|---|-------------------------------|
| Catégorie | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
| A | <p>DERODE A ET AL: "Random multiple scattering of ultrasound. II. Is time reversal a self-averaging process?" PHYSICAL REVIEW E (STATISTICAL, NONLINEAR, AND SOFT MATTER PHYSICS), SEPT. 2001, APS THROUGH AIP, USA, vol. 64, no. 3, 2001, pages 036606/1-13, XP002279676 ISSN: 1063-651X page 2</p> | 1,23 |
| A | <p>-----</p> <p>YON S ET AL: "Sound focusing in rooms: the time-reversal approach" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, MARCH 2003, ACOUST. SOC. AMERICA THROUGH AIP, USA, vol. 113, no. 3, mars 2003 (2003-03), pages 1533-1543, XP012003364 ISSN: 0001-4966 abrégé</p> | 1,23 |
| A | <p>-----</p> <p>WO 97/03438 A (FINK MATHIAS ;LEWINER JACQUES (FR); APPLIC DU RETOURNEMENT TEMP SO) 30 janvier 1997 (1997-01-30) cité dans la demande revendications 1,12</p> <p>-----</p> | 1,23 |

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR2004/001980

| Document brevet cité au rapport de recherche | | Date de publication | | Membre(s) de la famille de brevet(s) | | Date de publication |
|---|---|------------------------|----|---|--|------------------------|
| WO 9703438 | A | 30-01-1997 | DE | 69606179 D1 | | 17-02-2000 |
| | | | DE | 69606179 T2 | | 17-08-2000 |
| | | | EP | 0842508 A1 | | 20-05-1998 |
| | | | EP | 0944035 A2 | | 22-09-1999 |
| | | | WO | 9703438 A1 | | 30-01-1997 |
| | | | JP | 2000501896 T | | 15-02-2000 |
| | | | US | 6198829 B1 | | 06-03-2001 |
| | | | US | 2001001603 A1 | | 24-05-2001 |
| <hr/> | | | | | | |